

亚太地区职业安全卫生学术研讨会  
暨全国安全科学技术学术交流会  
交 流 资 料

# 灰色理论与安全系统

黄 小 武

冶金工业部安全环保研究院

一九九三年八月

武 汉

# 灰色理论与安全系统

**摘要】** 灰色系统理论是系统论的一门新学科,在很短的时间里以极快的速度渗透到了自然科学和社会科学的诸多领域,取得了良好的效果。本文分析认为:安全系统中有许多灰色特征,是一个典型的本征性灰色系统;把灰色理论和方法应用于对安全系统的研究,将有着较为广阔的前景,而成为一种新的安全定量分析、预测、决策和控制方法。

**关键词】** 灰色理论 安全系统 应用 研究

## 一、灰色系统理论简介

在系统论和控制论中,颜色的深浅常用来形容信息的完备程度。一般用“白”表示信息完全,系统的结构、参数、特征等全部确知,明明白白;“黑”表示信息一无所知,即所谓的“黑箱”;介于“白”与“黑”之间,信息不充分、不完全称为“灰”。进而有,信息不完全的数称为灰数;信息不完全的元素称为灰元;信息不完全的关系称为灰关系。若某系统中有信息不完全或不确知的现象则称为系统的灰色性。具有灰色性的系统便称为灰色系统。对于抽象系统,由于系统没有物理原型,其作用机制、边界关系、状态、结构等均难以精确描述,人们只能凭逻辑推理、运用某种观念意识,某些准则对系统进行论证,然后建立各种模型加以表达,这种抽象系统称为本征性灰色系统。如社会系统、经济系统、生态系统和安全系统等。

严格地说,人类认识和改造的对象——客观世界,并不是“白的”,也不是“黑的”,而是“灰的”。只是在处理实际问题时,人们对一些不确知的因素忽略不计,才把某些灰色系统当作白色系统来认识和处理。所以,灰色系统是普遍存在的,是绝对的,而白色系统和黑色系统则是相对的。

灰色系统理论的内容主要由以下五个部分组成。

### 1. 系统的灰色关联分析

系统的灰色关联分析是灰色理论提出的独特的系统分析方法,它是根据因素间发展态势的相似或相异程度,来衡量因素间关联程度的方法。由于灰色关联分析是按系统的数据发展趋势作分析,所以克服了数理统计分析(传统的量化系统分析

法)的种种弊病:如要求大样本量;要求数据有较好的分布规律(或线性的或指数的或对数的);计算工作量大及可能出现量化结果与定性分析结论不符的现象等,而成为一种全新的量化系统分析方法。

## 2. 系统的灰色建模

灰色系统理论建模的主要任务,是根据灰色系统的行为特征数据,寻找因素之间或因素本身的数学关系。现有的其它建模方法是用离散的数据序列,建立一个按时间作逐段分析的模型,即递推的离散模型。由于这种模型有较大的局限性,所以灰色理论用离散的数据序列建立了连续的微分方程模型,从而解决了这个一向被认为不能解决的问题,这正是灰色理论的重要贡献之一。

灰色建模是分五步进行的:第一步语言模型,第二步网络模型,第三步量化模型,第四步动态量化模型,第五步优为模型。这种建模的思路可用图1的控制思路概括。

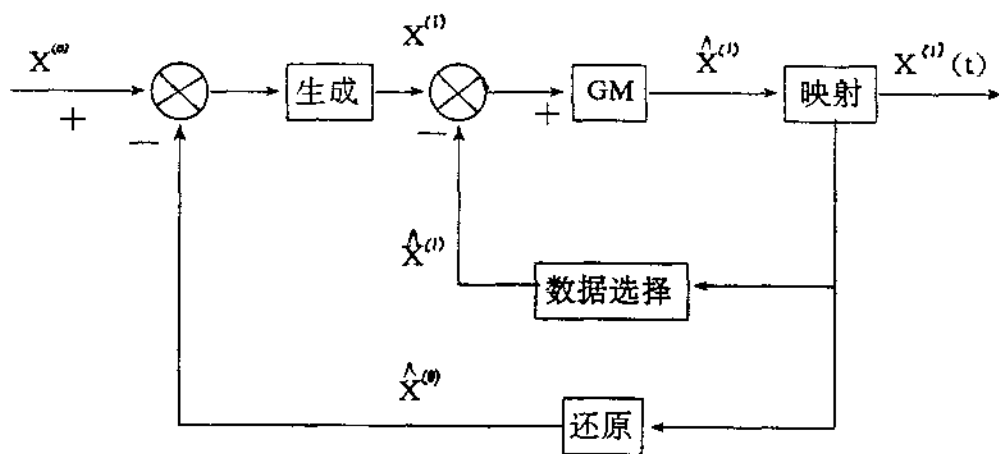


图1 灰色建模思路

## 3. 灰色预测

灰色预测主要是依托 GM(1,1)灰色模型进行的预测,按其功用与特征可分为以下几类:

(1)数列预测 是对系统行为特征值大小的发展变化所作的等时距预测。

(2)灾变预测 是对系统行为特征量超出某个设定的阈值(临界值)的异常值将在何时再现的预测。显然,灾变预测的建模数据是异常值(称为灾变值)出现的时间间隔序列,预测的结果是灾变值可能出现的时间。

(3) 季节灾变预测 若系统的行为特征量灾变值的出现是在一年中某个特定的时区,呈现一定的季节性,对这种灾变值将在何时再现的预测称为季节灾变预测。

(4) 拓扑预测 是对一段时间里系统行为特征数据波形的预测,是整体预测。

(5) 系统预测 将系统中包含的几个量一起预测,预测变量(因素)之间发展变化的关系,预测系统中主导因素的作用。

#### 4. 灰色决策

决策是指选定一个合适的对策,去对付某个事件的发生,以取得最佳效果。之所以称为灰色决策指的是对策模型的建立,都是按灰色思想处置,按灰色模型(尤其是GM(1,1))得到的。灰色决策的特点是对策效果存在一个满意区域,称为灰靶,由于灰靶的存在使得灰色决策易于完成,因为这给决策的执行人提供了发挥智慧的机会。

#### 5. 灰色控制

所谓灰色控制是指本征性灰色系统的控制,或系统中含有灰参数的控制,或用GM(1,1)模型构成的预测控制。

## 二、安全系统的灰色特征

安全系统是一个多因素、多层次、多目标的相互联系、相互制约的巨系统,其运行过程是由许多错综复杂的关系所组成的灰色动态过程。它包括了人、物、环境、管理等浩繁的信息网络,是一项由社会系统、技术系统、环境系统有机地组合结构而成的复杂的抽象系统,具有明显的灰色性质的特点,是一个典型的本征性灰色系统。

### 1. 系统层次的灰色特征——复杂性

从横向看,安全系统里有许多灰色子系统和亚于系统,如安全法规系统、安全宣传教育系统、安全科研系统、行业安全管理系统、安全监察系统、安全管理信息系统,工伤保险系统等为于系统,而每一于系统又有若干亚于系统,如行业安全管理系统中有冶金、石化、煤炭、水电等行业安全管理系统;从纵向看,安全系统中各子系统有纵多层次的亚子系统,且亚于系统之间不乏相互交叉的灰色关系。所以安全系统中有很多灰色层次,每一层次又有灰元或灰因素构成,并以灰关系连接,于是安全系统组成了一个多因素在多层环节中具有多功能的,纵横交错的复杂的灰色立体系统。

## 2. 系统结构关系的灰色特征——模糊性

首先,安全系统本身是没有物理原型的抽象系统,其结构、状态、边界等都难以精确描述,对系统的运行机制人们更是不甚明了。其次,安全系统内部各因素与因素之间,子系统与子系统之间,上下层次之间以及与整个系统之间,相互交叉的种种关系是复杂的,模糊的,难以量化描述;如人、物、环境、管理四要素之间以及各要素内部元素之间的关系是怎样的,谁是影响安全生产的主要因素,它们各自在安全系统中所占的比重又是怎样的,四者之间及与系统之间的关系能否用数学模型加以描述等,人们只能有一个模糊的认识;对控制事故的领导措施、工程技术措施、教育措施和管理措施四者之间相互关系的认识也是如此。在具体的事故分析过程中,当某起事故的事实真相被某种因素所干扰时,造成事故的直接原因、间接原因、基础原因或主要原因与次要原因等的区分常常是困难的,各种原因之间的边界更是模糊的。

由于上述系统结构的模糊性,人们对它的认识自然就是灰色的。

## 3. 系统动态变化的灰色特征——随机性

安全系统与其它许多系统一样,是个日新月异地变化发展着的动态系统,其中的各种因素在随时改变自身的状态,且这种变化多数是随机的,如正常情况下,人的不安全行为、机器故障、车间里的噪声值,空气中的粉尘浓度及温度等均具有明显的随机性。特别由事故原理可知,任何事故的发展过程是随机过程,事故的发生是随机事件,而随机性正是灰色性的显著特征。可见,事实上事故的发展过程是一个灰色过程,事故现象本身是一个灰色事件。

安全系统动态变化的随机性,增加了人们认识上的灰色度,这就难以有足够的信息来描述和掌握系统的发展规律,从而使得安全系统难以控制。

## 4. 系统数据指标的灰色特征——不确定性

人们要对安全系统的内容、性质、功能等特征加以描述和评价,常用几组能反映各类因素特征的数量指标所组成的指标体系来表达。事实上,安全系统中的很多数据指标是指标灰色区间值的白化值,如年均千人伤亡率、月均经济损失率等。并且,我们采集到的各种统计、观测数据,由于人为因素、技术方法等的影响,可能造成各种误差、虚假和短缺的现象,如我国某些地区乡镇企业职工伤害的统计、报告制度尚未落到实处,这定会影响全国职业伤害统计数据真实性。又如,伤亡事故和职业病经济损失值,尽管直接经济损失相对符合实际(严格地说,并不确切),但间接经济损失值几乎全部是近似数,当然国家颁布的伤亡事故经济损失统计标准

身就是不精确的,也不可能作到精确,所以,任何一起职业伤害经济损失值都是灰数,这是由安全系统的灰色特性决定的。

以上所述安全系统的种种灰色特征说明,安全系统是一个灰色系统,正由于它的灰色特性,使得人们在很长一个时期里对安全系统的研究停留在定性分析和静态描述水平上,难以对安全系统作全面的定量和动态分析研究。由于缺乏系统的观点、理论和数学手段,加上传统习惯的束缚,因此对安全系统的发展变化是凭经验分析、评价、预测,靠主观意志决策,造成了许多失误。只是近年随着科学技术的进步,系统工程的理论和方法在安全系统中的运用和发展,才逐步使安全由定性向定量过渡,标志着对安全系统的研究进入了一个新的阶段。

### 三、灰色理论在安全系统中的应用

#### 1. 安全系统的灰色关联分析

灰色关联分析通过求因素间的灰色关联度,来分析系统中各因素间的关系。它应用于安全系统分析主要在以下几个方面:

##### (1) 用于影响安全生产的主次因素分析

现代化企业里,影响安全生产的各种因素错综复杂,它们所起的作用也非等同,对不同的企业情况变化更大,为了有效地操作安全系统,控制职业伤害,就要进行主次因素分析。在给出了若干反映安全系统特征数据序列后,便能够通过计算因素间关联度,分析出影响企业安全状况的主次因素。这种主次因素分析不同于数理统计分析的特点是能进行多方位的综合分析,而数理统计分析(如主次图)则是单一的,显得有些片面,不一定能客观地反映系统内部的真实情况。如对某大型企业,现有全厂及每个车间的伤亡率、经济损失率、安全管理达标率、尘毒治理合格率等特征数据,若采用数理统计法就很难达到划分主次因素的目的,但借助灰色关联分析,就可综合地分析出各车间对全厂安全生产影响程度的大小,进而动态分析下去就能观察到各车间及全厂安全生产发展趋势。这实际上是个企业内部的安全评价过程。

##### (2) 用于安全投资效益分析

企业的安全投资主要用于安全教育、安全科研、个体防护装备、重大危险源和危害源的治理、机电设备的安全防护、事故的紧急处置、危险作业的技术工艺改造、与新(改、扩)建工程相配套的安全卫生设施、安全卫生检测仪器设备和日常安全管理费用十个方面,这十个方面并不是彼此孤立的,它们之间有着内在的联系,且一

个方面的投资可能同时在其它几个方面产生效应。那么每项投资规模对总的安效益的影响程度如何呢？每项投资对自身单方面的安全效益及对其它方面的安效益影响程度又如何呢？这就可以通过建立安全投资——效益关联矩阵来加以分析，从关联矩阵中可以清楚地看出每项投资产生的效益情况。

安全投资效益的灰色关联分析，可为未来的安全投资决策提供比较全面、科学的依据。需要指出的是，由于安全投资与效益间有一定的时间差（效益滞后于投资），因此在计算安全投资——效益关联矩阵时，应将效益指标滞后一定时间（如一年）与投资相对应。

### (3) 可用于企业比较优劣的安全评价

灰色关联分析用于企业安全评价的基本思路是：先规定几项需要考察的安全指标，并分别列出每个企业一年的各项指标值；然后以相对优化原则组成一参考序列，相应求出每个企业各项指标序列对参考序列的关联度，再比较各关联度的大小即可评价出企业间安全生产状况的优劣。这无疑是一种综合性的易于操作的定量安全评价方法，其局限性在于只能做企业间安全生产状况的优劣排队，而不能进行分类。

## 2. 安全系统的灰色预测

灰色理论的五种预测法都可应用于安全系统：

(1) 数列预测 这种方法简便易行，可直接应用于反映安全系统特征的若干指标发展态势的预测，建模数据序列是系统的特征值本身，既可以是相对指数也可以是绝对指数，如千人伤亡率、千人经济损失率或一定时间内的伤亡人数、经济损失值等。我国安全学界的有关学者较早地运用了数列预测，取得了令人满意的效果，并认为它有所需数据量少、模型精度高、预测结果准确等优点。

(2) 灾变预测 当考察某系统中历年的伤亡及经济损失数据序列时，会发现每隔一定时区就有突变性的异常值出现。假若给定一个阈值，那么高于阈值的特征量为灾变值，若干灾变值之间的时间间隔值组成一列数据序列作为  $GM(1,1)$  建模的原始数据进行预测，即可预测出未来可能出现灾变值的时间。可见灾变预测的功能是预测灾变值出现的时间，而不能预测灾变值本身的大小。

(3) 季节灾变预测 在统计分析某系统的职业伤害数据序列时，会发现事故的发生带有季节性特点，如夏季常常就是伤亡事故的高发季节，对于这种在一年中特定季节出现事故灾变值的时间的预测，就是安全系统的季节灾变预测。

(4) 拓扑预测 用于预测安全系统中整体数据序列的波形发展态势。通过它可

以预测系统未来总的安全生产运行状态,能较为全面地了解安全系统的动态发展过程。

(5)系统预测 将用于描述人、物、环境、管理及安全投资等的几个指标一起预测,观察影响安全生产的主要因素变量间相互关系的发展态势,预测安全系统中主导因素的作用变化。

### 3. 灰色安全评价

据有关研究,安全系统的灰色评价方法有两种:一种是前面介绍过的灰色关联分析评价,这种评价方法的优点是简便易行,但只能进行安全生产的优劣排队,而不能分类,因而在实际应用中有一定的局限性。另一种是灰聚类安全评价,这种方法解决了分类问题,且能综合评价安全系统的状况,适用于广泛应用,是一种有效的定量安全评价方法,其不足之处是数学过程比较复杂。

### 4. 安全管理的灰色决策

安全管理的灰色决策,主要是运用灰色局势决策理论对以下几项内容作出定量的科学决策。

- (1)安全管理的宏观决策;
- (2)安全投资决策;
- (3)安全工作重点的决策;
- (4)工程项目建设中的安全决策;
- (5)尘毒治理及事故预防方案的决策。

可以认为,安全管理的过程就是安全决策的过程,要实现安全管理的科学化就离不开科学的决策,而灰色决策原理在安全管理中的应用,将是实现安全管理决策科学化的有效途径之一。

### 5. 安全系统的灰色控制

安全决策的执行称为安全控制。传统的安全控制方法,是通过判断安全系统已经发生的行为(即各种职业伤害数据)是否符合管理者的要求进行的控制,这是一种事后控制(即通常所说的事后安全管理)。其控制回路如图2所示。

大量事实说明,传统的事后安全控制,已经远不能适应现代化企业安全生产的需要,之所以如此,是因为事后安全控制存在下述不足:

- (1)不能防患于未然;
- (2)不能作到适时控制,信息反馈和系统运行不灵敏;
- (3)系统适应性不强。



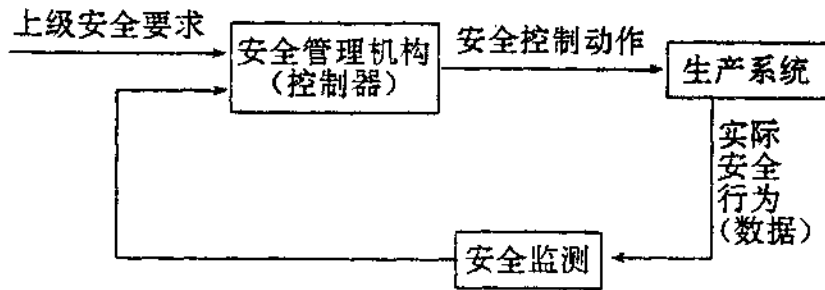


图2 传统安全控制系统图

安全系统的灰色控制则通过分析系统的职业伤害数据列,寻找系统中职业伤害的发展变化规律,并按照已掌握的规律,预测系统未来的职业伤害情况,采取相应的控制对策。这种建立在预测基础之上的灰色安全控制可以作到防患于未然,达到及时控制,并提高适应能力,从而克服了传统安全控制方法的不足。

图3为灰色安全预测控制示意图。

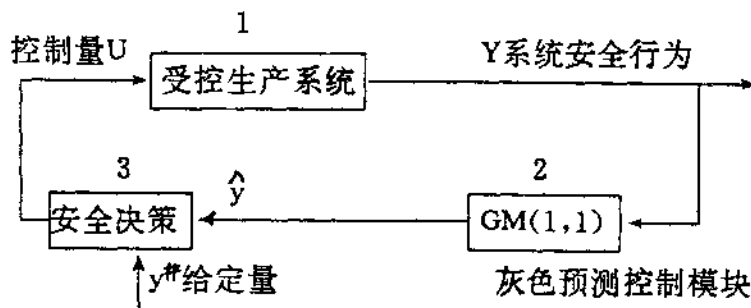


图3 灰色安全预测控制系统图

图3中,1为安全控制对象,即生产系统, $Y$ 为系统发生的职业伤害特征值;2为灰色预测模块,即GM(1,1)的功能块, $\hat{y}$ 为预测值,即2的模型预测结果;3为安全控制决策环节,它根据预测值 $\hat{y}$ 与管理者给定值 $Y^*$ (如来自上级主管部门等)确定相应的控制量 $U$ ,即安全管理目标值。

图3所示控制系统的工作原理如下:

对系统发生的职业伤害特征值进行检测(采样,即测量Y值,如每年对企业进行一次伤亡事故统计),将检测得到的数列输入环节2,建立GM(1,1)预测模型,并输出未来一个时期或几个时期的预测值 $\hat{Y}$ ,在环节3中,将 $\hat{Y}$ 与给定量 $Y^*$ 进行比较,以确定一个合适的控制量U,再根据U的大小控制生产系统使未来的Y值满足安全管理者的要求。控制系统如此良性循环下去,将会逐步使受控系统的安全状况得到改善。

安全管理的目的和任务就是要控制伤亡事故和职业病害的发生。传统的安全管理运用经典的事后控制方法,使得安全工作显得被动和事倍功半。现代安全管理的一个重要标志就是事前预测控制,显然运用灰色控制理论于安全管理将能为此而起到积极的作用。

#### 四、结 语

灰色系统理论作为一项重要的软科学理论,在短短的时间里被国内外学者广泛应用于社会、经济、生态、农业和水利、地质等领域,取得了丰硕的成果。可以预见,灰色理论在安全系统中的应用也有着广阔前景,而成为一种新的安全定量分析、评价、预测、决策和控制方法。

#### 参 考 文 献

- 1 邓聚龙.灰色系统理论教程.武汉:华中理工大学出版社,1990
- 2 王学萌等.灰色系统模型在农村经济中的应用.武汉:华中理工大学出版社,1989
- 3 黄小武.灰色系统理论在环境预测中的应用初探.地质勘探安全,1988;2
- 4 黄小武.事故的灰色预测探讨.地质勘探安全,1989;3,4
- 5 黄小武.职业伤害经济损失的灾变预测法.中国安全科学学报,1992(增刊)

### GREY THEORY AND SAFETY SYSTEM

Huang Xiaowu

(Institute of safety and Environment Protection of Ministry of Metallurgical Industry)

**Abstract** The grey system theory is a new discipline which has been penetrated into

many fields of the natural and social sciences in a high speed and short time and achieved a good effect. The safety system has many grey properties and is a typical and natural character grey system. The application of the grey theory and method to studying the safety system has a wide prospect and forms a new way for a quantitative analysis ,prediction ,decision and control of the safety system. Those above conclusions are produced by this paper.

**【Key Words】** Grey theory Safety system Application Study